

УДК 621.316.824

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-6

Смирнов А.В.<sup>1</sup>  
Басов О.О.<sup>2</sup>

# МЕТОДИКА ВЫБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ

<sup>1</sup>) Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

<sup>2</sup>) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

*e-mail: sav\_smirnof@mail.ru, oobasov@mail.ru*

## Аннотация

В работе рассмотрены варианты построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи. С использованием метода аналитической иерархии обоснована целесообразность использования для его реализации: контактных реле – для имитации обрыва, переменных резисторов с сервоприводами – для имитации асимметрии жил, многопозиционных переключателей с шаговыми двигателями – для внесения неисправностей “нарушение изоляции между двумя жилами разных пар” и “нарушение изоляции по отношению к заземлению”. Оптимальный выбор осуществлён по пяти наиболее часто применяемым критериям: стоимость, массогабаритные показатели, оперативность (скорость имитации неисправностей), энергопотребление при внесенных неисправностях и универсальность применения.

**Ключевые слова:** метод аналитической иерархии, ручная коммутация, автоматическая коммутация, повреждение изоляции, короткое замыкание, асимметрия сопротивления.

UDC 621.316.824

Smirnov A.V.<sup>1</sup>  
Basov O.O.<sup>2</sup>

# TECHNIQUE SELECTION TECHNIQUE FOR IMPLEMENTING THE DEVICE INTENDED FOR CAUSING FAULT IN THE ELECTRICAL COMMUNICATION CABLE

<sup>1</sup>) Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostrleitnaya St, Orel, 302034, Russia

<sup>2</sup>) Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

*e-mail: sav\_smirnof@mail.ru, oobasov@mail.ru*

## Abstract

The paper discusses the options for building a device for making failures in the electrical communication cable. Using the analytical hierarchy method, it is reasonable to use for its implementation: contact relays - to simulate a break, variable resistors with servo drives - to simulate the asymmetry of the wires, multi-position switches with stepper motors - to introduce faults “insulation failure between two wires of different pairs” and “violation insulation to earth ground”. The optimal choice was made according to the five most frequently used criteria: cost, weight and dimensions, efficiency (speed of fault simulation), power consumption in case of faults and versatility of use.

**Keywords:** analytical hierarchy method, manual switching, automatic switching, insulation damage, short circuit, resistance asymmetry.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из важных вопросов, решаемых в ходе проектирования различных устройств, является выбор способа их реализации, удовлетворяющего предъявляемым требованиям.

В качестве показателей для выбора способа реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи могут использоваться:

- техническая характеристика (характеристики), наиболее важная для конкретной области применения устройств внесения неисправностей (число имитируемых неисправностей, оперативность их внесения, поддерживаемые типы электрического кабеля связи и т. п.) [10];
- надежность;
- массогабаритные характеристики устройства;
- соответствие специфическим требованиям заказчика (наличие сертификатов, опыт применения в других областях, особенности программного обеспечения и т. п.);
- перспективы выпуска серии устройств, совместимость с другим телекоммуникационным оборудованием;
- стабильность технической поддержки производителя;
- наличие максимально полной технической документации;
- стоимостные характеристики и др.

Следует отметить, что для различных условий применения степень важности каждого из указанных показателей различна. Например, для применения проектируемого устройства внесения неисправностей в специализированных телекоммуникационных сетях наиболее важными являются показатели, характеризующие их надежность и безопасность; при решении учебных задач, в том числе в условиях, близких к реальным, наиболее важной является оперативность внесения неисправностей; при ограниченных финансовых возможностях наиболее важными являются стоимостные показатели и т.п. [9]

По результатам проведенной оценки по выбранным показателям может быть выбрано небольшое число (три–пять) способов внесения неисправностей в электрический кабель связи, которые наиболее соответствуют всем предъявляемым тактико-техническим требованиям и сопоставимы друг с другом по эксплуатационным показателям. Из этих оставшихся вариантов необходимо выбрать наиболее приемлемый с точки зрения технических и эксплуатационных показателей вариант для данной применения. При этом, как правило, невозможно найти вариант реализации (оборудование, компонентную базу), который являлся бы лучшим по всем приведенным выше показателям.

В частности, отдельные типы компонентной базы, обладающие наиболее высокой производительностью или надежностью, уступают по другим характеристикам; оборудование, лучшее по количеству поддерживаемых типов электрического кабеля связи, является более дорогим и т. п. Эти противоречия отражают типичный характер вариантов многокритериальных решений.

Для проведения сравнительной оценки и выбора лучшего варианта предлагается использовать один из методов оценки многокритериальных альтернатив – метод аналитической иерархии. Указанный метод достаточно широко используется как средство сравнения и выбора для небольшого числа заданных альтернатив. Он позволяет применить математические методы для обработки неизбежно субъективных предпочтений экспертов в задачах принятия решений.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

### **Выбор варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи**

С учетом изложенного выше предлагается методика выбора варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи, включающая следующие этапы [2]:

- 1) выбор из всего множества технических средств данного назначения образцов, наиболее удовлетворяющих требованиям;
- 2) для отобранной группы технических средств реализации устройства с применением метода аналитической иерархии:
  - а) проводится структуризация задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цель–критерии–альтернативы (рис. 1);
  - б) выполняются попарные сравнения элементов каждого уровня. Результаты сравнений переводятся в числа с помощью таблицы 1.

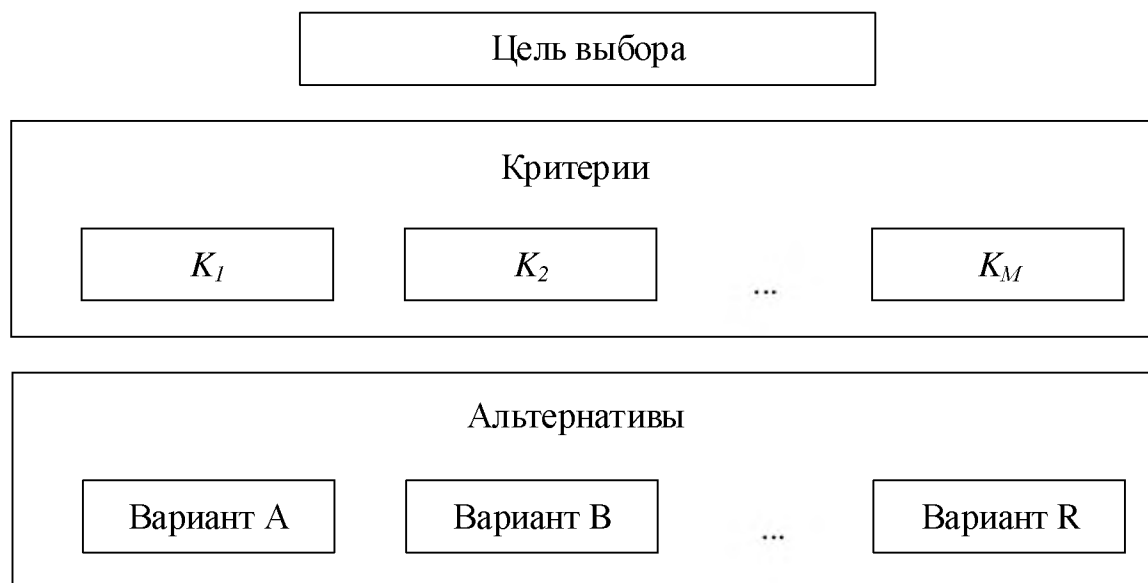


Рис. 1. Иерархическая схема проблемы выбора технических средств  
Fig. 1. The hierarchical scheme of the problem of choosing hardware

Таблица 1

Шкала относительной важности

Table 1

Scale of relative importance	
Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Сильное превосходство	5
Значительно большее превосходство	7
Очень большое превосходство	9

в) вычисляются веса критериев  $\omega_i$  и коэффициенты важности для элементов каждого уровня  $V_{ij}$ :

$$\omega_i = \frac{W}{\sum_{i=0}^N W_i},$$

где  $W_i$  – собственный вектор, определяемый как корень  $n$ -й степени ( $n$  – размерность матрицы) из произведений элементов каждой строки матрицы сравнений для критериев;  $N$  – число критериев;

$$V_{ij} = \frac{W_i}{\sum_{j=0}^M W_{ij}},$$

где  $W_{ij}$  – собственный вектор матрицы сравнений альтернатив по  $i$ -му критерию;  $M$  – число альтернатив;

г) подсчитывается количественный показатель качества  $V_j$  каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива:

$$V_{ij} = \sum_{i=0}^N \omega_i V_{ij},$$

где  $V_j$  – показатель качества  $j$ -й альтернативы;  $\omega_i$  – вес  $i$ -го критерия;  $V_{ij}$  – коэффициент важности  $j$ -й альтернативы по  $i$ -му критерию.

Ниже рассмотрим эти этапы применительно к решаемой задаче.

Для реализации выбора варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи рассмотрено четыре альтернативных варианта [2]:

1) ручная коммутация неисправностей (имитация короткого замыкания, обрыва цепи, подключения резисторов, изменяющих сопротивление изоляции) в схеме устройства (альтернатива 1);

2) автоматическая коммутация неисправностей с помощью набора контактных реле (альтернатива 2);

3) автоматическая коммутация неисправностей на основе аналоговых ключей (альтернатива 3);

4) имитация обрыва с помощью контактных реле, асимметрии жил с помощью переменных резисторов с сервоприводами, неисправностей “нарушение изоляции между двумя жилами разных пар” и “нарушение изоляции по отношению к заземлению” с помощью многопозиционных переключателей с шаговыми двигателями (альтернатива 4).

Анализ технических характеристик указанных альтернативных вариантов показывает, что каждый из них по отдельным показателям превосходит другие варианты, а по отдельным уступает им. В частности, альтернатива 1 обладает более высокой надежностью, для альтернативы 2 характерна наибольшая по сравнению с аналогами оперативность, альтернатива 3 обладает наименьшими массогабаритными показателями.

Предположим, что выбор средств реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи производится по пяти наиболее часто применяемым критериям: стоимость (критерий 1), массогабаритные показатели (критерий 2), оперативность (скорость имитации неисправностей) (критерий 3), энергопотребление при внесенных неисправностях (критерий 4) и универсальность применения (критерий 5). Матрица сравнений для критериев представлена в таблице 2. Шкала относительной важности критериев соответствует представленной в таблице 1.

Матрицы сравнений альтернатив по каждому из критериев приведены в таблицах 3–7.

Таблица 2

Матрица сравнений для критериев

Table 2

Scale of relative importance

Критерии	1	2	3	4	5	Собственный вектор	Вес критерия
1	1	3	1	7	1	1,8384	0,1521
2	1/3	1	1/5	1/3	1	0,4670	0,5761
3	1	5	1	1/3	1/3	0,8891	0,0736
4	1/7	3	3	1	1/3	0,8441	0,0698
5	1	1	3	3	1	1,5518	0,1284

Таблица 3

Матрица сравнений альтернатив по критерию “стоимость”

Table 3

Matrix of comparisons of alternatives by “the criterion of cost”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	9	7	5	3,1598	0,5860
2	1/9	1	5	1/3	0,7137	0,1324
3	1/7	1/5	1	1/3	0,3942	0,0731
4	1/5	3	3	1	1,1247	0,2086

Таблица 4

Матрица сравнений альтернатив по критерию “массогабаритные показатели”

Table 4

Matrix of comparisons of alternatives according to the criterion of “weight and dimensions”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	7	7	5	3,0049	0,5697
2	1/7	1	5	1/3	0,7505	0,1423
3	1/7	1/5	1	1/3	0,3942	0,0747
4	1/5	3	3	1	1,1247	0,2132

Таблица 5

Матрица сравнений альтернатив по критерию “оперативность”

Table 5

Matrix of comparisons of alternatives by the criterion of “efficiency”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	1/9	1/9	1/9	0,2676	0,0521
2	9	1	1	3	1,9332	0,3765
3	9	1	1	3	1,9332	0,3765
4	9	1/3	1/3	1	1	0,1948

Таблица 6

Матрица сравнений альтернатив по критерию “энергопотребление при внесенных неисправностях”

Table 6

Matrix of comparisons of alternatives according to the criterion “energy consumption in case of faults”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	9	9	9	3,7372	0,6308
2	1/9	1	1/7	1/5	0,3165	0,0534
3	1/9	7	1	1/3	0,7634	0,1289
4	1/9	5	3	1	1,1076	0,1869

Таблица 7

Матрица сравнений альтернатив по критерию “универсальность применения”

Table 7

Matrix of comparisons of alternatives according to the criterion “universality of application”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	9	9	5	3,3227	0,5892
2	1/9	1	7	1	0,9510	0,1686
3	1/9	1/7	1	1/7	0,2959	0,0525
4	1/5	1	7	1	1,0696	0,1897

На основе этих таблиц могут быть рассчитаны показатели качества каждой из альтернатив. Проведенные вычисления позволяют определить:

$$V_1 = 0,1521 \cdot 0,5860 + 0,5761 \cdot 0,5697 + 0,0521 \cdot 0,0521 + 0,0698 \cdot 0,6308 + 0,1284 \cdot 0,5892 = 0,5409;$$

$$V_2 = 0,1521 \cdot 0,1324 + 0,5761 \cdot 0,1423 + 0,0521 \cdot 0,3765 + 0,0698 \cdot 0,0534 + 0,1284 \cdot 0,1686 = 0,1552;$$

$$V_3 = 0,1521 \cdot 0,0731 + 0,5761 \cdot 0,0747 + 0,0521 \cdot 0,3991 + 0,0698 \cdot 0,1289 + 0,1284 \cdot 0,0525 = 0,0976;$$

$$V_4 = 0,1521 \cdot 0,2086 + 0,5761 \cdot 0,2132 + 0,0521 \cdot 0,1948 + 0,0698 \cdot 0,1869 + 0,1284 \cdot 0,1897 = 0,2063.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выбора варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи было установлено следующее:

1. Наилучшим выбором является альтернатива 1 ( $V_1 = 0,5409$ ), предусматривающая ручную коммутацию неисправностей. Однако её значительным недостатком является низкая оперативность (скорость внесения неисправностей), что вступает в противоречие с целью проектирования, в связи с чем, при выборе варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи следует рассматривать альтернативы 2–4, предусматривающие автоматизацию основного процесса.

2. Исходя из описанных условий, лучшей является альтернатива 4 ( $V_4 = 0,5409 > V_2 > V_3$ ), следовательно, для реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи целесообразно использовать: контактные реле – для имитации обрыва, переменные резисторы с сервоприводами – для имитации асимметрии жил, многопозиционные переключатели с шаговыми



двигателями – для внесения неисправностей “нарушение изоляции между двумя жилами разных пар” и “нарушение изоляции по отношению к заземлению”.

### Список литературы

1. Алиев А.А., 2014. Кабельные изделия: справочник. – 3-е издание. – М.: ИП РадиоСофт. 224 с.
2. Андреев В.А., Портнов Э.Л., 2011. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком. 424 с.
3. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И., 2000. Основы теории цепей. – М.: Радио и связь. 587 с.
4. Ионов А.Д., Попов Б.В., 1990. Линии связи. – М.: Радио и связь. 82 с.
5. Ксенофонтов А.А., Портнов Э.Л., 2009. Направляющие системы электросвязи: задачник. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком. 267 с.
6. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г., 2005. Цифровые сети доступа. – М.: Натекс-Экотрендз. 288 с.
7. Хернтер М.Е., Multisim 7, 2006: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. – М.: Издательский дом ДМК Пресс. – 488 с.: ил.
8. Рекомендация МСЭ-Т L.19. Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL.
9. Смирнов А.В., Безручко В.В., Басов О.О. Прототип устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи // Научный результат. Информационные технологии. – Том 3, №3, 2018. – С. 45-53.
10. Смирнов А.В., Басов О.О., Волощенко И.С., Кузнецов А.В. Имитационное и натурное моделирование устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи. – Том 3, №1, 2018. – С. 36-42.

### References

1. Aliev A.A., 2014. Cable products: a guide. – 3rd edition. – M.: IP RadioSoft. 224 s.
2. Andreev V.A., Portnov, E.L., 2011. Guidelines for telecommunication: a textbook for universities. In 2 volumes. Volume 1 – Theory of Transmission and Influence. – 7th edition, revised and add. – M.: Hotline – Telecom. 424 s.
3. Bakalov V.P., Dmitrikov V.F., Kruk B.I., 2000. Fundamentals of the theory of chains. – M.: Radio and communication. 587 s.
4. Ionov A.D., Popov B.V., 1990. Communication lines. – M.: Radio and communication. 82 s.
5. Ksenofontov A.A., Portnov E.L., 2009. Telecommunication guide systems: a problem book. – 2nd ed., Stereotype. – M.: Hotline – Telecom. 267 s.
6. Parfenov Yu.A., Miroshnikov D.G., 2005. Digital Access Networks. – M.: Natex-Ecotrendz. 288 s.
7. Herniter M.E., Multisim 7, 2006: Modern system of computer simulation and analysis of electronic device circuits. – M.: Publishing House DMK Press. – 488 s., Ill.
8. ITU-T Recommendation L.19. Multi-pair copper network cables providing simultaneous operation of several services, such as POTS, ISDN and xDSL.
9. Smirnov A.V., Bezruchko V.V., Basov O.O. The prototype of the device for making faults in the electric communication cable // Scientific result. Information Technology. - Volume 3, No. 3, 2018. - s. 45-53.
10. Smirnov A.V., Basov O.O., Voloschenko I.S., Kuznetsov A.V. Simulation and full-scale simulation of the device for introducing faults in the electrical communication cable. - Volume 3, Number 1, 2018. - s. 36-42.

**Смирнов Андрей Вячеславович**, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации  
**Басов Олег Олегович**, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

**Smirnov Andrey Vyacheslavovich**, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation  
**Basov Oleg Olegovich**, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems